

**«ПРЕДСТАВЛЕНИЯ  
ЧЕЛОВЕЧЕСТВА О  
ЗВЕЗДАХ  
И СОЗВЕЗДИЯХ, ИХ  
ЭВОЛЮЦИИ В  
РАЗЛИЧНЫЕ ЭПОХИ».**



# *СОДЕРЖАНИЕ*

- ВВЕДЕНИЕ
- ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЗВЕЗД.
- ИСТОРИЯ НАЗВАНИЯ ЗВЕЗД И СОЗВЕЗДИЙ.
- ЭВОЛЮЦИЯ ЗВЕЗД
- МИФЫ В АСТРОНОМИИ

Вселенная состоит на 98% из звезд. Они же являются основным элементом галактики.

«Звезды – это огромные шары из гелия и водорода, а также других газов. Гравитация тянет их внутрь, а давление раскаленного газа выталкивает их наружу, создавая равновесие. Энергия звезды содержится в ее ядре, где каждую секунду гелий взаимодействует с водородом».

- На протяжении веков единственным источником сведений о звездах и Вселенной был для астрономов видимый свет. Наблюдая невооруженным глазом или с помощью телескопов, они использовали только очень небольшой интервал волн из всего многообразия электромагнитного излучения, испускаемого небесными телами.
- Астрономия преобразилась с середины 20 века, когда прогресс физики и техники предоставил ей новые приборы и инструменты, позволяющие вести наблюдения в самом широком диапазоне волн – от метровых радиоволн до гамма-лучей, где длины волн составляют миллиардные доли миллиметра.
- Это вызвало нарастающий поток астрономических данных. Фактически все крупнейшие открытия последних лет – результат современного развития новейших областей астрономии, которая стала сейчас всеволновой.



- Еще с начала 30-х годов, 20 столетия, как только возникли теоретические представления о нейтронных звездах, ожидалось, что они должны проявить себя как космические источники рентгеновского излучения.
- Первыми открытыми нейтронными звездами оказались пульсары,
- пульсары — это тесные двойные системы, в которых одна из звезд является нейтронной, а другая — яркой звездой-гигантом.
- Первые два рентгеновских пульсара — в созвездии Геркулеса и в созвездий Центавра — открыты в 1972 г. с помощью американского исследовательского спутника «Ухуру».

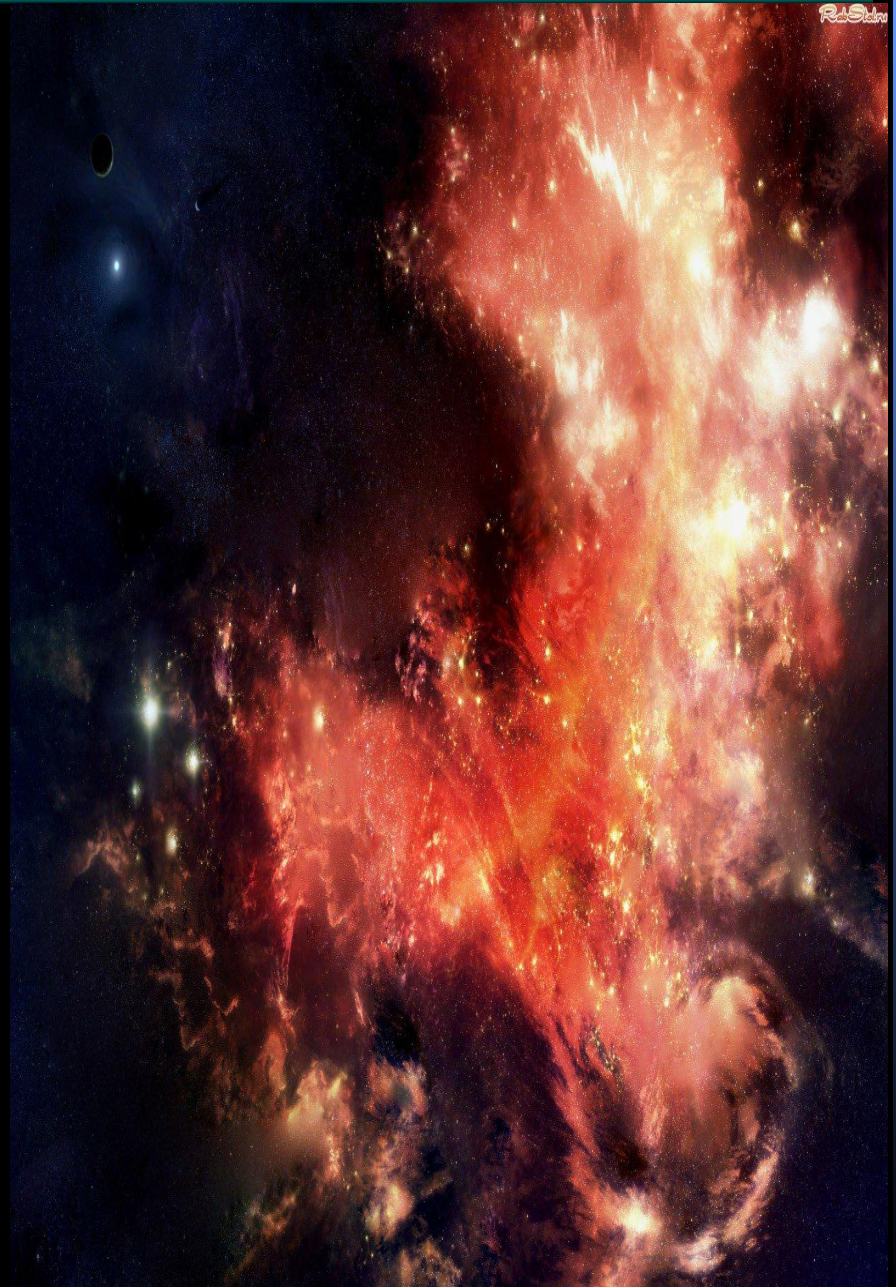


Жизненный путь звезд представляет собой законченный цикл – рождение, рост, период относительно спокойной активности, агония, смерть, и напоминает жизненный путь отдельного организма.

Астрономы не в состоянии проследит жизнь одной звезды от начала и до конца. Даже самые короткоживущие звёзды существуют миллионы лет – дольше жизни не только одного человека, но и всего человечества. Однако учёные могут наблюдать много звёзд, находящихся на самых разных стадиях своего развития, - только что родившиеся и умирающие. По многочисленным звездным портретам они стараются восстановить эволюционный путь каждой звезды и написать её биографию.

# Рождение звезды

- Звезды возникают постоянно. Сначала это простые облака газа и пыли в космическом пространстве. Как только подобные сгустки вещества начинают собираться вместе, возникающая сила притяжения усиливает этот процесс. В центре такого образования газ становится горячее и плотнее, и в конце концов его температура и давление повышаются настолько сильно, что начинается процесс ядерного синтеза. Его начало знаменует собой рождение новой звезды. Нередко множество звезд возникает вблизи друг от друга, в гигантском облаке. Тогда они образуют семейство звезд, которое называется *скоплением*



# Области звездообразования.

Гигантские молекулярные облака с массами, большими 10<sup>5</sup> массы Солнца (их известно более 6 000 в Галактике)

## Туманность Орел



- в 6000 световых лет от нас
- молодое рассеянное звёздное скопление в созвездии Змеи
- тёмные области в туманности — это протозвёзды
- **Звезды бывают** новорожденными, молодыми, среднего возраста и старыми. Новые звезды постоянно образуются, а старые постоянно умирают.



# Светимость

- Одни звезды светят более мощно, другие – слабее. **Мощность излучения звезды называется светимостью. Светимость – это полная энергия, излучаемая звездой за 1 секунду.**
- Светимость звезды характеризует поток энергии, излучаемой звездой по всем направлениям, и имеет размерность мощности Дж/с или Вт.
- Светимость определяется, если известны видимая величина и расстояние до звезды.
- Светимости других звезд определяют в относительных единицах, сравнивая со светимостью Солнца.
- Известны звезды, излучающие в десятки тысяч раз меньше, чем Солнце. А звезда S Золотой Рыбы, видимая только в странах южного полушария Земли как звездочка 8-й звездной величины (не видимая невооруженным глазом!), в миллион раз ярче Солнца. По светимости звезды могут отличаться в миллиард раз.
- Среди звезд очень высокой светимости выделяют гиганты и сверхгиганты. Большинство гигантов имеет температуру 3 000–4 000 К, поэтому их называют красными гигантами.
- Сверхгиганты, например, Бетельгейзе – самые мощные источники света. Звезды, имеющие маленькую светимость, называются карликами.

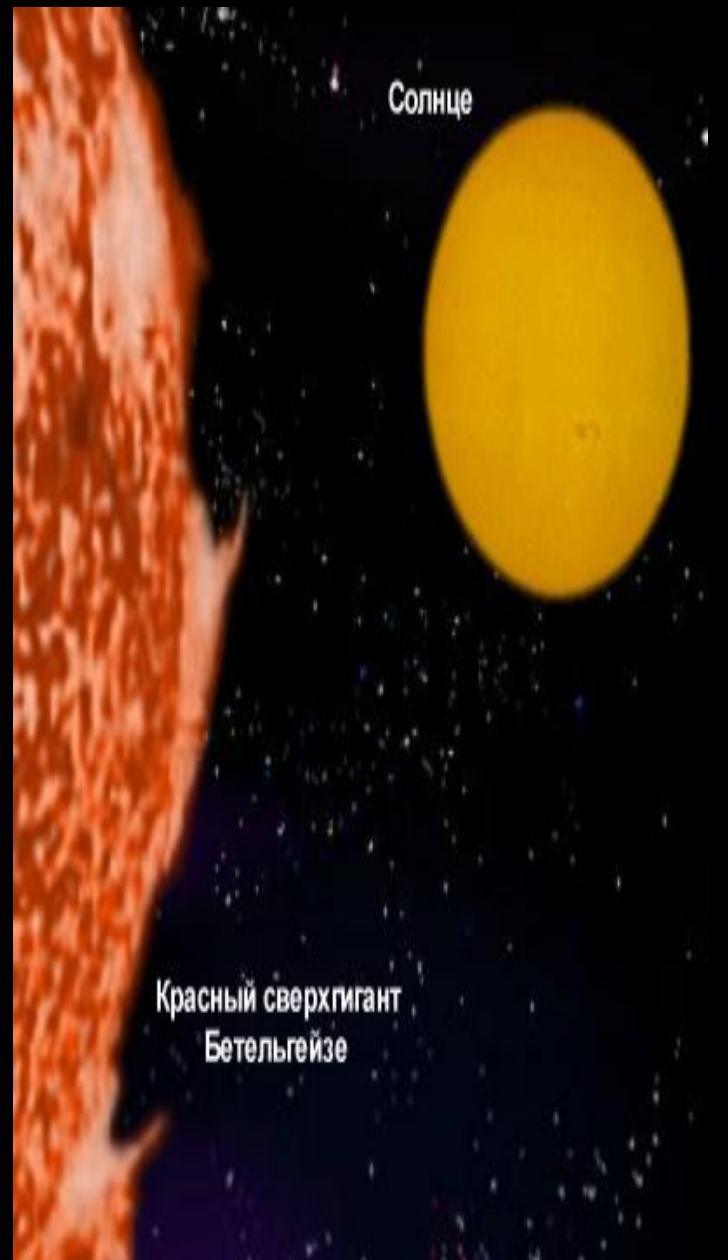


- Все звезды стареют и умирают, но продолжительность каждой отдельной звезды определяется ее массой.
- **Температура.** Температура определяет цвет звезды и ее спектр. Так, например, если температура поверхности слоев звезд
- 3-4 тыс. К., то ее цвет **красноватый**,
- 6-7 тыс. К. - желтоватый.
- свыше 10-12 тыс. К. - белый или **голубоватый** цвет.
- **Химический состав.** Химический состав наружных слоев звезд, откуда к нам "непосредственно" приходит их излучение, характеризуется полным преобладанием водорода. На 2 месте находится гелий, 3 - железо, фосфор.
- **Радиус звезды.** Поверхность звезды равна  $4 R^2$ . Если известны температура и светимость звезды, то можно вычислить ее радиус.



# Масса звезд

- Масса определяет весь жизненный путь звезды.
- **Массу можно оценить для звезд,** входящих в двойные звездные системы, если известны большая полуось орбиты  $a$  и период обращения  $T$ . В сущности говоря, астрономия не располагала и не располагает в настоящее время методом прямого и независимого определения массы изолированной звезды. И это серьезный недостаток нашей науки о Вселенной. **Для звезд установлено, что чем больше масса, тем выше светимость звезды.** Эта зависимость нелинейна: например, с увеличением массы вдвое светимость возрастает более чем в 10 раз.
- Массы звезд заключены в пределах от 0,1 масс Солнца до нескольких десятков масс Солнца.
- Сравнения масс и светимостей для большинства звезд выявили следующую зависимость: светимость приблизительно пропорциональна четвертой степени массы.



# Светимость

- Одни звезды светят более мощно, другие – слабее. **Мощность излучения звезды называется светимостью. Светимость – это полная энергия, излучаемая звездой за 1 секунду.**
- Светимость звезды характеризует поток энергии, излучаемой звездой по всем направлениям, и имеет размерность мощности Дж/с или Вт.
- Светимость определяется, если известны видимая величина и расстояние до звезды.
- Светимости других звезд определяют в относительных единицах, сравнивая со светимостью Солнца.
- Известны звезды, излучающие в десятки тысяч раз меньше, чем Солнце. А звезда S Золотой Рыбы, видимая только в странах южного полушария Земли как звездочка 8-й звездной величины (не видимая невооруженным глазом!), в миллион раз ярче Солнца. По светимости звезды могут отличаться в миллиард раз.
- Среди звезд очень высокой светимости выделяют гиганты и сверхгиганты. Большинство гигантов имеет температуру 3 000–4 000 К, поэтому их называют красными гигантами.
- Сверхгиганты, например, Бетельгейзе – самые мощные источники света. Звезды, имеющие маленькую светимость, называются карликами.



# ИСТОРИЯ НАЗВАНИЯ ЗВЕЗД И СОЗВЕЗДИЙ

- История созвездий очень интересна. Ещё очень давно наблюдатели неба объединили наиболее яркие и заметные группы звёзд в созвездия и дали им различные наименования.
- Это были имена различных мифических героев или животных, персонажей легенд и сказаний - Геркулес, Центавр, Телец, Цефей, Кассиопея, Андромеда, Пегас и др.
- В названиях созвездий Павлин, Тукан, Индеец, Юж. Крест, Райская Птица была отражена эпоха Великих географических открытий.



- Созвездий очень много - 88. Но не все из них яркие и заметные. Наиболее богато яркими звёздами зимнее небо.
- На первый взгляд, названия многих созвездий кажутся странными. Часто в расположении звёзд очень трудно или даже просто невозможно рассмотреть то, о чём говорит название созвездия. Большая Медведица, например, напоминает ковш, очень трудно представить на небе Жирафа или Рысь.
- Но если вы посмотрите старинные атласы звёздного неба, то на них созвездия изображены в виде животных.

В безоблачную и безлунную ночь вдали от населенных пунктов можно различит около 3000 звезд.

Вся небесная сфера содержит около 6000 звезд, видимых невооруженным глазом



Звездное небо в районе созвездия Возничего

# МИФЫ В АСТРОНОМИИ

- Что древние греки рассказывали о медведицах?
- О Большой и Малой Медведицах существует много легенд. Вот одна из них. Когда-то в незапамятные времена, у царя Ликаон, правившего страной Аркадией, была дочь по имени Каллисто. Красота её была столь необыкновенной, что она рискнула соперничать с Герой - богиней и супругой всемогущего верховного бога Зевса. Ревнивая Гера отомстила Каллисто: пользуясь своим сверхъестественным могуществом, она превратила её в безобразную медведицу. Когда сын Каллисто, юный Аркад, возвратившись с охоты, увидел у дверей своего дома дикого зверя, он ничего не подозревая, чуть не убил свою мать-медведицу. Этому помешал Зевс - он удержал руку Аркада, а Каллисто навсегда взял к себе на небо, превратив в красивое созвездие - Большую Медведицу.





Самая известная группа звезд в северном полушарии –  
Ковш Большой медведицы



# Малая МЕДВЕДИЦА

- В Малую Медведицу заодно была превращена и любимая собака Каллисто. Не остался на Земле и Аркад: Зевс и его превратил в созвездие Волопаса, обречённого навеки сторожить в небесах свою мать.
- Главная звезда этого созвездия называется Арктур, что означает "страж медведицы". Большая и Малая Медведицы являются незаходящими созвездиями, наиболее заметными на северном небе.



### **ОТКУДА ВОЛОСЫ ВЕРОНИКИ НА НЕБЕ?**

У древнего созвездия Льва на небе была довольно большая "территория", а сам Лев был обладателем великолепной "кисточки" на хвосте. Но в 243 году до н.э. он ее лишился. Произошла забавная история, о которой гласит легенда.

У египетского царя Птолемея Эвергета была красавица супруга, царица Вероника. Особенно великолепны были ее роскошные длинные волосы. Когда Птолемей отправился на войну, его опечаленная супруга дала клятву богам: если они сохранят ее любимого мужа целым и невредимым, принести в жертву свои волосы. Вскоре Птолемей благополучно вернулся домой, но, увидев остриженную супругу, был расстроен. Царственную чету несколько успокоил астроном Конон, заявив, что боги вознесли волосы Вероники на небо, где им предназначено украшать весенние ночи.

# Протозвезда

- При увеличении плотности облака оно становится непрозрачным для излучения.
- Начинается повышение температуры внутренних областей.
- Температура в недрах протозвезды достигает порога термоядерных реакций синтеза.
- Сжатие на какое-то время прекращается.



# ЭВОЛЮЦИЯ ЗВЕЗД

- Чтобы пройти самую раннюю стадию своей эволюции, протозвездам нужно сравнительно немного времени.
- Так как время эволюции протозвезд сравнительно невелико, эту самую раннюю фазу развития звезды обнаружить трудно. Все же звезды в такой стадии, по-видимому, наблюдаются.
- В 1966 г. совершенно неожиданно выявилась возможность наблюдать протозвезды на ранних стадиях их эволюции. Велико же было удивление радиоастрономов, когда при обзоре неба на волне 18 см, соответствующей радиолинии ОН, были обнаружены яркие, чрезвычайно компактные (т.е. имеющие малые угловые размеры) источники.

# Светимость

- Одни звезды светят более мощно, другие – слабее. **Мощность излучения звезды называется светимостью. Светимость – это полная энергия, излучаемая звездой за 1 секунду.**
- Светимость звезды характеризует поток энергии, излучаемой звездой по всем направлениям, и имеет размерность мощности Дж/с или Вт.
- Светимость определяется, если известны видимая величина и расстояние до звезды.
- Светимости других звезд определяют в относительных единицах, сравнивая со светимостью Солнца.
- Известны звезды, излучающие в десятки тысяч раз меньше, чем Солнце. А звезда S Золотой Рыбы, видимая только в странах южного полушария Земли как звездочка 8-й звездной величины (не видимая невооруженным глазом!), в миллион раз ярче Солнца. По светимости звезды могут отличаться в миллиард раз.
- Среди звезд очень высокой светимости выделяют гиганты и сверхгиганты. Большинство гигантов имеет температуру 3 000–4 000 К, поэтому их называют красными гигантами.
- Сверхгиганты, например, Бетельгейзе – самые мощные источники света. Звезды, имеющие маленькую светимость, называются карликами.



- Была высказана гипотеза, что эти линии принадлежат какой-то неизвестной субстанции, которой сразу же дали "подходящее" имя "мистериум".
- Однако "мистериум" очень скоро разделил судьбу своих оптических "братьев" — "небулия" и "короння". Дело в том, что многие десятилетия яркие линии туманностей и солнечной короны не поддавались отождествлению с какими бы то ни было известными спектральными линиями. Поэтому их приписывали неким, неизвестным на земле, гипотетическим элементам — "небулию" и "коронию". В 1939—1941 гг. было убедительно показано, что загадочные линии "корония" принадлежат ионизованным атомам железа, никеля и кальция.
- Через несколько недель после открытия стало ясно, что линии "мистериума" принадлежат обыкновенному гидроксилу, но только находящемуся в необыкновенных условиях.
- Итак, источники "мистериума" — это гигантские, природные космические мазеры, работающие на волне линии гидроксила, длина которой 18 см. Именно в мазерах (а на оптических и инфракрасных частотах — в лазерах) достигается огромная яркость в линии, причем спектральная ширина ее мала.

- Без постоянно действующей "накачки" мазер или лазер невозможны. Вопрос о природе механизма "накачки" космических мазеров, пока еще окончательно не решен. Однако скорее всего "накачкой" служит достаточно мощное инфракрасное излучение.
- Механизм "накачки" этих мазеров пока еще не совсем ясен, все же можно составить себе грубое представление о физических условиях в облаках, излучающих мазерным механизмом линию 18 см. Прежде всего, оказывается, что эти облака довольно плотны: в кубическом сантиметре там имеется по крайней мере  $10^8$  —  $10^9$  частиц, причем существенная (а может быть и большая) часть их — молекулы.
- Температура вряд ли превышает две тысячи градусов, скорее всего она порядка 1000 градусов. Эти свойства резко отличны от свойств даже самых плотных облаков межзвездного газа. Учитывая еще сравнительно небольшие размеры облаков, мы невольно приходим к выводу, что они скорее напоминают протяженные, довольно холодные атмосферы звезд — сверхгигантов.



- Очень похоже, что эти облака есть не что иное, как ранняя стадия развития протозвезд, следующая сразу за их конденсацией из межзвездной среды. В пользу этого утверждения (которое автор этой книги высказал еще в 1966 г.) говорят и другие факты.
- В туманностях, где наблюдаются космические мазеры, видны молодые горячие звезды. Следовательно, там недавно закончился и, скорее всего, продолжается и в настоящее время, процесс звездообразования.
- Пожалуй, самое любопытное это то, что, как показывают радиоастрономические наблюдения, космические мазеры этого типа как бы "погружены" в небольшие, очень плотные облака ионизованного водорода.
- В этих облаках имеется много космической пыли, что делает их ненаблюдаемыми в оптическом диапазоне. Такие "коконы" ионизируются молодой, горячей звездой, находящейся внутри них. При исследовании процессов звездообразования весьма полезной оказалась инфракрасная астрономия. Ведь для инфракрасных лучей межзвездное поглощение света не так

существенно.

Можно теперь представить следующую картину: из облака межзвездной среды, путем его конденсации, образуются несколько сгустков разной массы, эволюционирующих в протозвезды. Скорость эволюции различна: для более массивных сгустков она будет больше.

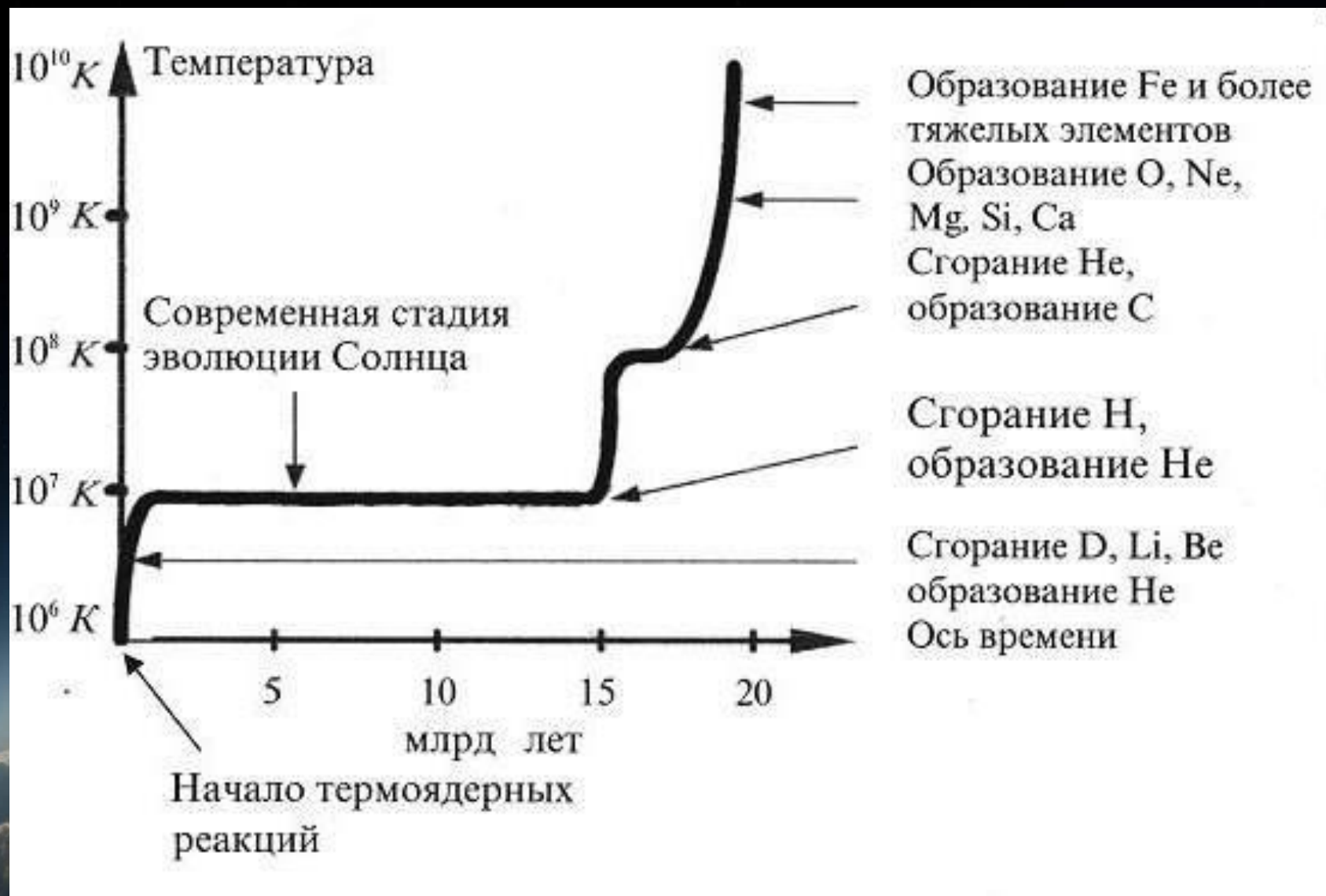
Поэтому раньше всего превратится в горячую звезду наиболее массивный сгусток, между тем как остальные будут более или менее долго задерживаться на стадии протозвезды. Их-то мы и наблюдаем как источники мазерного излучения в непосредственной близости от "новорожденной" горячей звезды, ионизирующей не сконденсировавший в сгустки водород "кокона".

Поэтому раньше всего превратится в горячую звезду наиболее массивный сгусток, между тем как остальные будут более или менее долго задерживаться на стадии протозвезды. Их-то мы и наблюдаем как источники мазерного излучения в непосредственной близости от "новорожденной" горячей звезды, ионизирующей не сконденсировавший в сгустки водород "кокона". Разумеется, эта грубая схема будет в дальнейшем уточняться, причем, конечно, в нее будут внесены существенные изменения. Но факт остается фактом: неожиданно оказалось, что некоторое время (скорее всего — сравнительно короткое) новорожденные протозвезды, образно выражаясь, "кричат" о своем появлении на свет, пользуясь новейшими методами квантовой радиофизики (т.е. мазерами).

- На главной последовательности и перестав сжигаться, звезда длительно излучает практически не меняя своего положения на диаграмме "спектр - светимость". Ее излучение поддерживается термоядерными реакциями, идущими в центральных областях. Таким образом, главная последовательность представляет собой как бы геометрическое место точек на диаграмме "спектр - светимость", где звезда (в зависимости от ее массы) может длительно и устойчиво излучать благодаря термоядерным реакциям. Место звезды на главной последовательности определяется ее массой.
- Следует заметить, что имеется еще один параметр, определяющий положение равновесной излучающей звезды на диаграмме "спектр-светимость". Таким параметром является первоначальный химический состав звезды. Если относительное содержание тяжелых элементов уменьшится, звезда "ляжет" на диаграмме ниже. Именно этим обстоятельством объясняется наличие последовательности субкарликов. Как уже говорилось выше, относительное содержание тяжелых элементов у этих звезд в десятки раз меньше, чем у звезд главной последовательности.
- Время пребывания звезды на главной последовательности определяется ее первоначальной массой. Если масса велика, излучение звезды имеет огромную мощность и она довольно быстро расходует запасы своего водородного "горючего". Так, например, звезды главной последовательности с массой, превышающей солнечную в несколько десятков раз (это горячие голубые гиганты спектрального класса O), могут устойчиво излучать, находясь на этой последовательности всего лишь несколько миллионов лет, в то время как звезды с массой, близкой к солнечной, находятся на главной

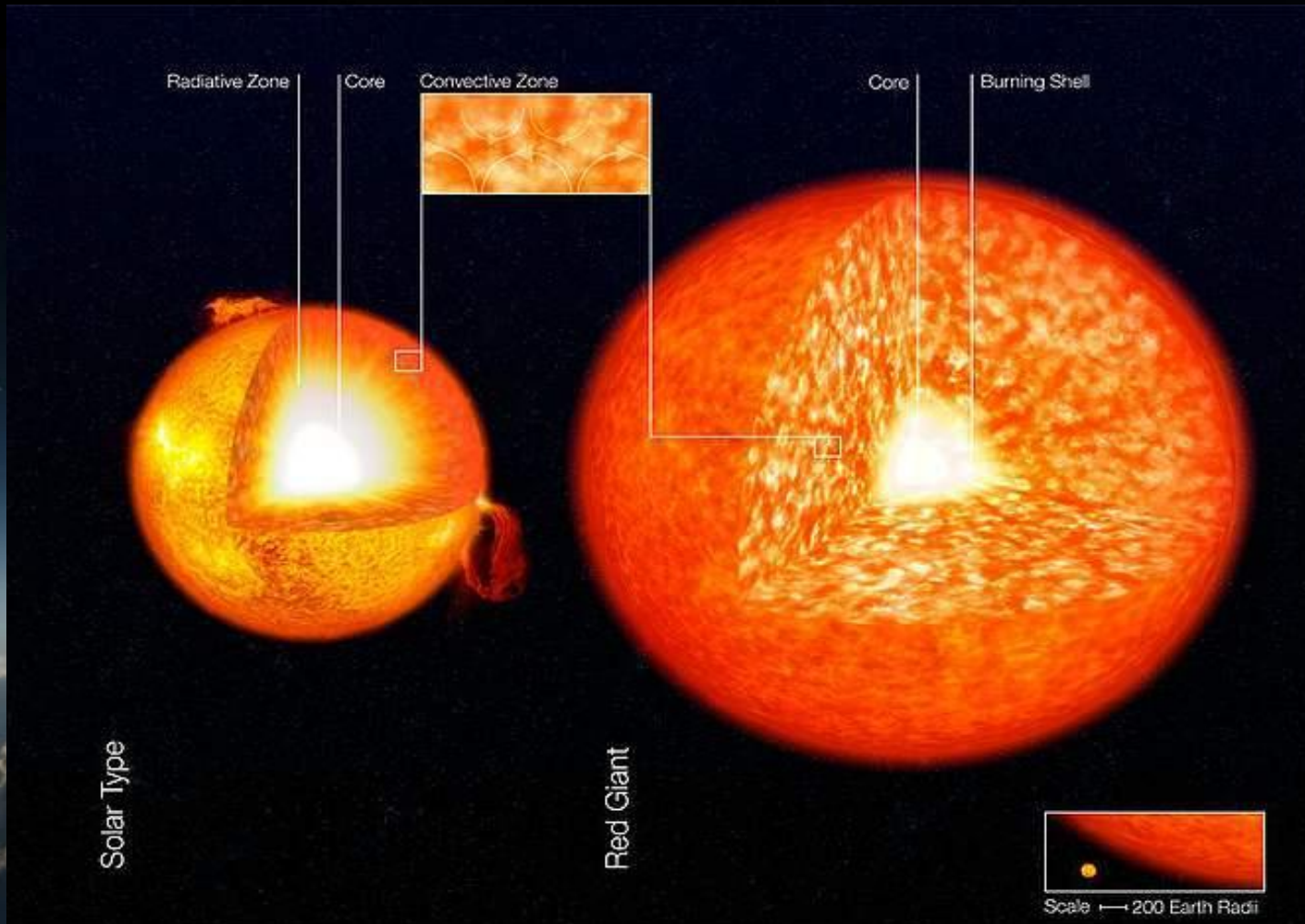
- "Выгорание" водорода (т.е. превращение его в гелий при термоядерных реакциях) происходит только в центральных областях звезды. Это объясняется тем, что звездное вещество перемешивается лишь в центральных областях звезды, где идут ядерные реакции, в то время как наружные слои сохраняют относительное содержание водорода неизменным. Так как количество водорода в центральных областях звезды ограничено, рано или поздно (в зависимости от массы звезды) он там практически весь "выгорит". Расчеты показывают, что масса и радиус центральной ее области, в которой идут ядерные реакции, постепенно уменьшаются, при этом звезда медленно перемещается на диаграмме "спектр - светимость" вправо. Этот процесс происходит значительно быстрее у сравнительно массивных звезд.
- Что же произойдет со звездой, когда весь (или почти весь) водород в ее ядре "выгорит"? Так как выделение энергии в центральных областях звезды прекращается, температура и давление не могут поддерживаться там на уровне, необходимом для противодействия силе тяготения, сжимающей звезду. Ядро звезды начнет сжиматься, а температура его будет повышаться. Образуется очень плотная горячая область, состоящая из гелия (в который превратился водород) с небольшой примесью более тяжелых элементов. Газ в таком состоянии носит название "вырожденного". Он обладает рядом интересных свойств. В этой плотной горячей области ядерные реакции происходить не будут, но они будут довольно интенсивно протекать на периферии ядра, в сравнительно тонком слое. Звезда как бы "разбухает", и начнет "сходить" с главной последовательности, переходя в области красных гигантов. Далее, оказывается, что звезды гиганты с меньшим содержанием тяжелых элементов будут иметь при одинаковых размерах более высокую светимость.

# График эволюции типичной звезды



# Гиганты и сверхгиганты

- когда водород полностью выгорает, звезда уходит с главной последовательности в область **ГИГАНТОВ** или при больших массах - **сверхгигантов**

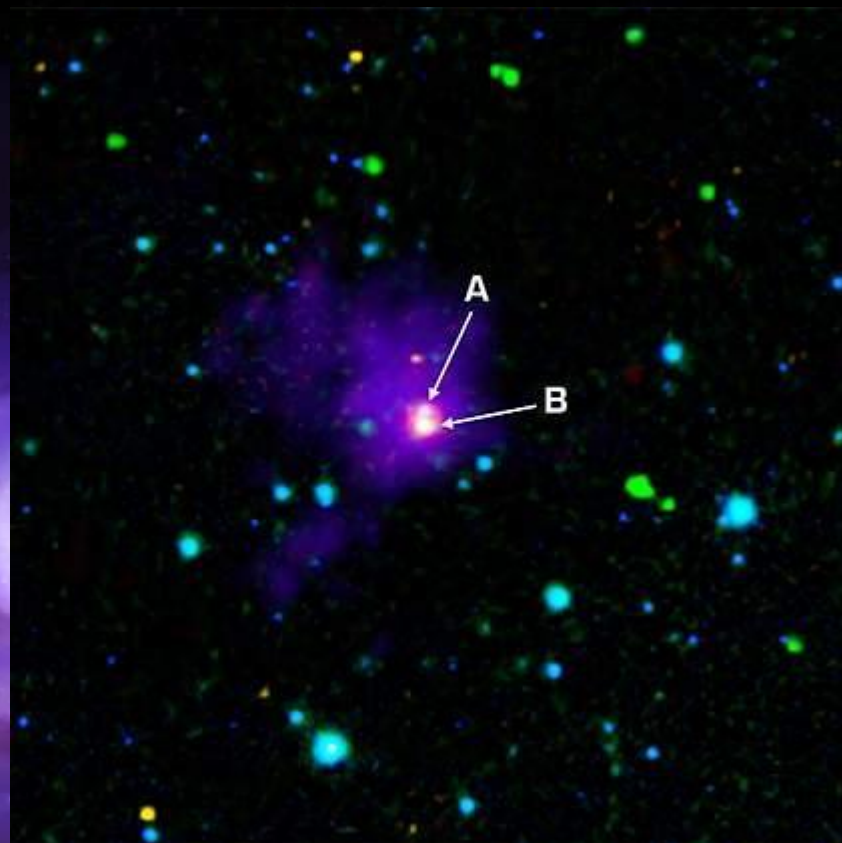


Когда все ядерное топливо выгорело,  
начинается процесс гравитационного сжатия.

масса звезды  $< 1,4$  массы Солнца: **БЕЛЫЙ КАРЛИК**

- электроны обобществляются, образуя вырожденный электронный газ
- гравитационное сжатие останавливается
- плотность становится до нескольких тонн в см<sup>3</sup>
- еще сохраняет  $T=10^4$  К
- постепенно остывает и медленно сжимается(миллионы лет)
- окончательно остывают и превращаются в **ЧЕРНЫХ КАРЛИКОВ**

Белый карлик в облаке  
межзвездной пыли

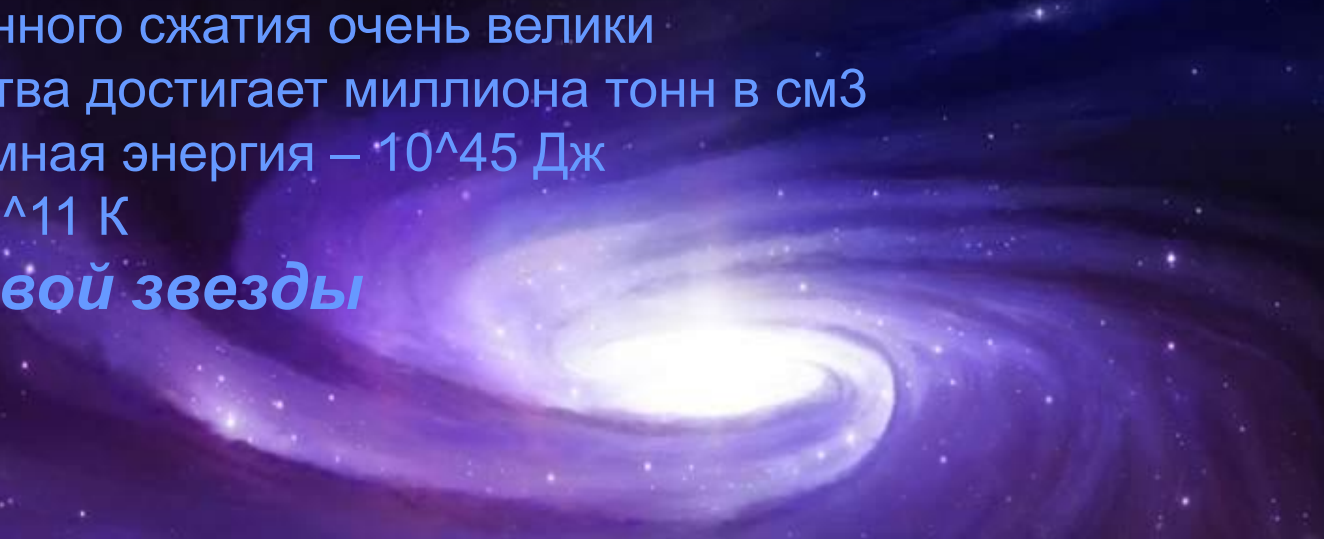


Два молодых черных  
карлика в созвездии Тельца



## масса звезды > 1,4 массы Солнца:

- силы гравитационного сжатия очень велики
  - плотность вещества достигает миллиона тонн в см<sup>3</sup>
  - выделяется огромная энергия –  $10^{45}$  Дж
  - температура –  $10^{11}$  К
  - взрыв ***Сверхновой звезды***
- 
- большая часть звезды выбрасывается в космическое пространство со скоростью 1000-5000 км/с
  - потоки нейтрино охлаждают ядро звезды -  
***Нейтронная звезда***



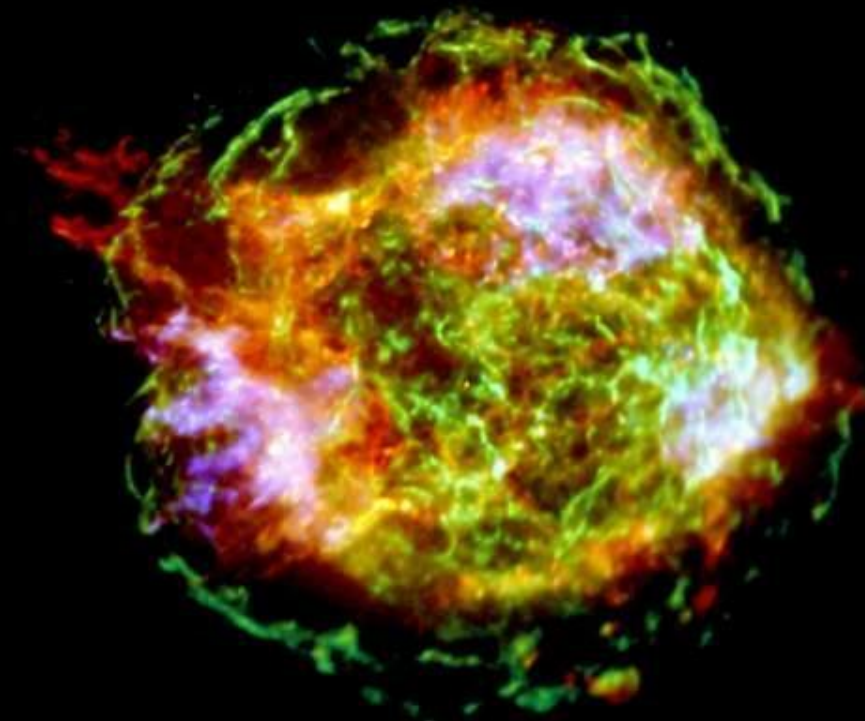
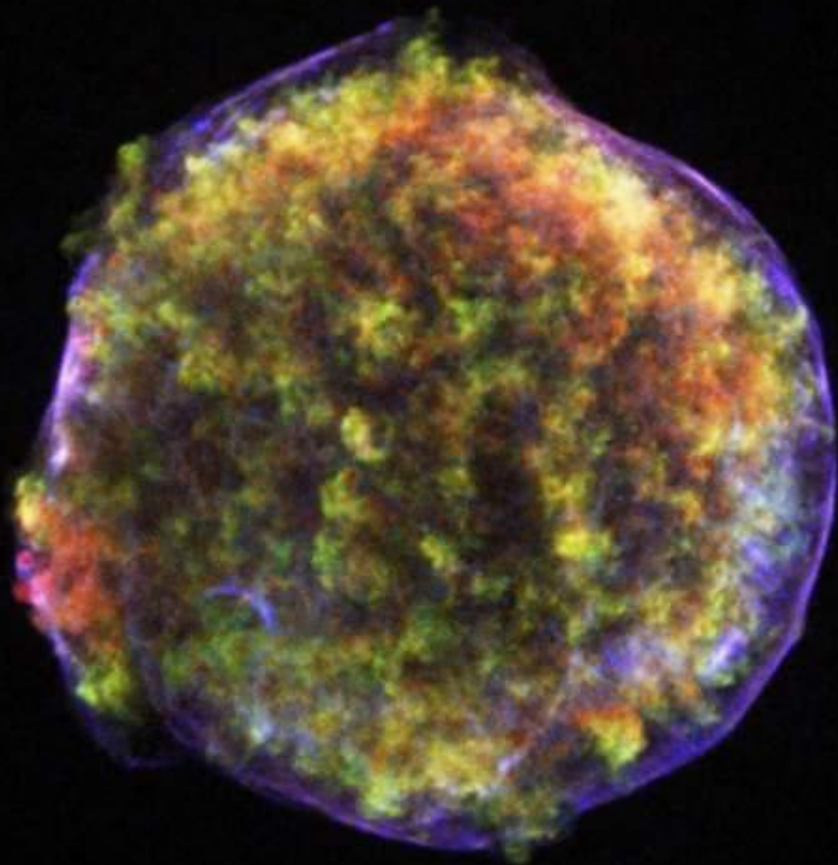
# Крабовидная туманность

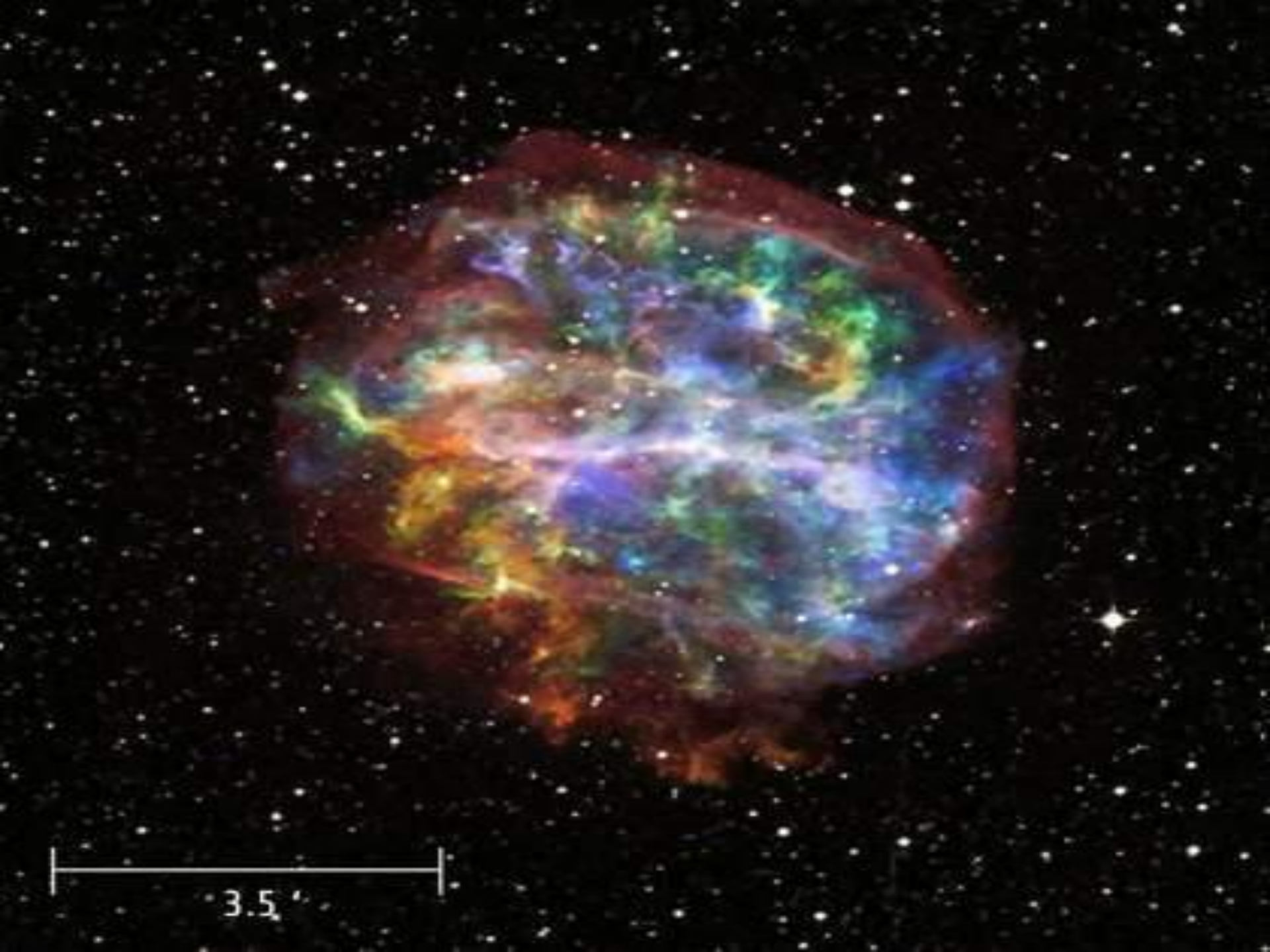
CRAB NEBULA



[HTTP://CHANDRA.HARVARD.EDU](http://chandra.harvard.edu)

# Взрыв сверхновой





масса звезды  $> 2,5$  массы Солнца

- гравитационный коллапс
- звезда превращается в *Черную дыру*



